

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international(43) Date de la publication internationale
15 avril 2004 (15.04.2004)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2004/032397 A1(51) Classification internationale des brevets⁷ : H04L 1/00

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/FR2003/002878

(22) Date de dépôt international : 1 octobre 2003 (01.10.2003)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :

02/12158 1 octobre 2002 (01.10.2002) FR

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : TELED-
IFFUSION DE FRANCE [FR/FR]; 10, rue d'Oradour-
sur-Glane, F-75015 Paris_cedex 15 (FR).

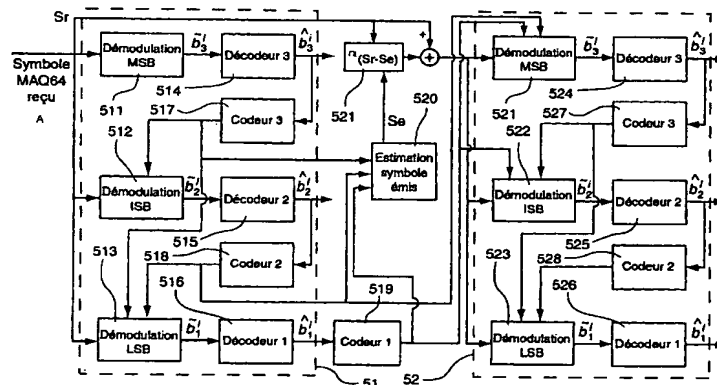
(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : JAHAN,
Bruno [FR/FR]; 1, allée de la Rabine, F-35190 Tinteni-
ac (FR). LOUIN, Pierrick [FR/FR]; 39, Square Fernand La-
bori, 35700 Rennes (FR).(74) Mandataire : VIDON, P.; Cabinet Vidon, 16B, rue
Jouanet, BP 90333, F-35703 Rennes Cédex 7 (FR).(81) États désignés (national) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ,
BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ,
DE, DK, DM, DZ, EC, EE, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD,
SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: RECEPTION OF A SIGNAL MODULATED ACCORDING TO A MULTILEVEL CODING TECHNIQUE

(54) Titre : RECEPTION D'UN SIGNAL MODULE SELON UNE TECHNIQUE DE CODAGE MULTI-NIVEAUX



A... RECEIVED QAM64 SYMBOL
511, 521... MSB DEMODULATION
512, 522... ISB DEMODULATION
513, 523... LSB DEMODULATION
514-516, 524-526... DECODERS 1, 2, 3
517-519, 527-529... ENCODERS 1-3
520... ESTIMATING TRANSMITTED SYMBOL

(57) Abstract: The invention concerns a method for receiving a signal modulated according to a multilevel coding technique, comprising at least two coding levels each having different noise robustness, said signal including a plurality of symbols each comprising at least one bit, assigned to one of said coding levels, said method comprising at least one decoding iteration including successive steps of decoding each of said received bits, at least one of said decoding steps integrating the result of at least one possible previous decoding step. The invention is characterized in that it consists in decoding said bits according to a predetermined sequence taking into account the robustness of said levels, the bit(s) assigned to the decoding level having the higher noise robustness, called most robust level, being decoded first.

(57) Abrégé : L'invention concerne un procédé de réception d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte, ledit signal comprenant une pluralité de symboles comprenant chacun au moins un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage, ledit

[Suite sur la page suivante]



(84) États désignés (régional) : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

— avant l'expiration du délai prévu pour la modification des revendications, sera republiée si des modifications sont reçues

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

procédé comprenant au moins une itération de décodage comprenant des étapes successives de décodage de chacun desdits bits reçus, l'une au moins desdites étapes de décodage tenant compte du résultat d'au moins une éventuelle étape de décodage précédente. Selon l'invention, on decode lesdits bits selon un ordre prédéterminé tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus robuste, étant décodé(s) en premier.

RECEPTION D'UN SIGNAL MODULE SELON UNE TECHNIQUE DE CODAGE MULTI-NIVEAUX

Le domaine de l'invention est celui du traitement du signal et des communications numériques.

- 5 Plus précisément, l'invention concerne une technique d'optimisation du décodage d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, ou MLC (pour l'anglais "Multi-Level Coding").

On connaît à ce jour plusieurs techniques de codage de canal à modulations codées. En effet, à la suite de la découverte par Ungerboeck des
10 modulations codées en treillis, encore appelées MCT ("Channel Coding with Multilevel/phase Signals", en français "Codage de canal avec des signaux multiniveaux/phases", IEEE Trans. IT, Janvier 1982, 28, n°1, pp. 55-67), les modulations codées en bloc, ou MCB, et les modulations multidimensionnelles codées en treillis ont été proposées.

- 15 Les modulations de type MCB ont notamment été décrites par Cusack dans "Error control codes for QAM signalling" (en français "Codes de contrôle d'erreurs pour une signalisation MAQ"), Electronics Letter, janvier 1984, 20, pp. 62-63 et par Sayegh dans "A class of optimum block codes in signal space" (en français "une classe de codes en bloc optimum dans l'espace signal"), IEEE Trans.
20 COM, octobre 1986, 34, n°10, pp. 1043-1045.

Les modulations multidimensionnelles codées en treillis ont notamment été décrites par Wei dans "Treillis-coded Modulation with Multidimensional Constellations" (en français "Modulation codée en treillis avec constellations multidimensionnelles"), IEEE Trans. IT, juillet 1987, 33, n°4, pp. 483-501 et par
25 Calderbank et Sloane dans "New treillis codes based on lattices and cosets" (en français "Nouveaux codes en treillis basés sur les treillis et les groupes conjugués"), IEEE Trans. IT, Mars 1987, 33, n°2, pp. 177-195.

Des modulations codées en treillis de complexité modérée (typiquement à 4 ou 8 états) peuvent donner un gain de codage de 3 à 4 dB. Cependant, dans les

applications de faisceaux hertziens à grande capacité, l'implantation du décodeur de Viterbi nécessaire pour décoder ces modulations reste très coûteuse.

Une nouvelle famille de codes MCB a donc été proposée pour ces applications particulières. L'implantation de tels codes est simple, mais leur gain
5 de codage est généralement limité à 2dB.

Une technique de codage attrayante pour ces applications de faisceaux hertziens à grande capacité a été proposée par Imai et Hirakawa dans "A new multilevel coding method using error-correction codes" (en français "une nouvelle méthode de codage multi-niveaux, utilisant des codes correcteurs d'erreurs"),
10 IEEE Trans. IT, mai 1977, 23, n°3, pp. 371-377. Cette technique est celle du codage multi-niveaux, dont l'intérêt réside dans l'existence d'un procédé simple de décodage, s'effectuant par étapes, et présentant un bon compromis entre performances et complexité d'implantation.

On rappelle ci-après brièvement le principe du codage multi-niveaux, ainsi
15 que le procédé de décodage par étapes associé.

On considère une constellation A_0 à 2^m points, qui est donc capable d'assurer la transmission de m bits par symbole.

Si m désigne le nombre de bits à coder, la constellation A_0 est partitionnée en m niveaux, donnant ainsi 2^m sous-ensembles. Le principe de cette partition est
20 identique à celui défini par Ungerboeck, et sert à maximiser la distance euclidienne minimale dans les sous-ensembles de la partition. Si on désigne par d_i la distance euclidienne minimale dans les sous-ensembles obtenus au $i^{\text{ème}}$ niveau de partition, on doit vérifier l'inégalité suivante :

$$(1) \quad d_0 < d_1 < d_2 < \dots < d_m$$

25 où d_0 est la distance minimale dans la constellation A_0 .

Ainsi, les m bits b_1, b_2, \dots, b_m , où b_i est le bit affecté au $i^{\text{ème}}$ niveau de la partition, sélectionnent un sous-ensemble parmi les 2^m . La figure 1 donne le schéma de cette partition dans le cas où $m = 2$. A_0 est partitionnée tout d'abord en deux sous-ensembles $B_i, i \in \{0, 1\}$ et où $i = b_1$, de distance minimale d_1 , puis en
30 quatre sous-ensembles $C_i, i \in \{0, 1, 2, 3\}$ et où $i = b_1 + 2b_2$, de distance minimale

d_2 . Dans le cas où A_0 est une constellation carrée de distance euclidienne d_0 , $d_1 = \sqrt{2}d_0$ et $d_2 = \sqrt{2}d_1 = 2d_0$.

Ce procédé d'affectation des points de la constellation A_0 a pour but de classer les m bits que représente le symbole émis, en fonction de leur vulnérabilité vis-à-vis du bruit. On peut en effet constater que le bit b_2 est moins vulnérable que le bit b_1 , puisqu'il lui correspond une distance euclidienne minimale de $d_2 > d_1$. D'après la relation (1), on peut montrer que si les bits b_k , $k \leq i-1$ sont suffisamment protégés pour qu'ils soient reçus correctement, le bit b_i , $i \leq m$ est mieux protégé vis-à-vis du bruit que tous les autres bits b_j , $j < i$. On a donc envisagé de coder ces bits séparément avec des codes différents.

C'est le principe du codage multi-niveaux qui consiste, après avoir partitionné la constellation A_0 en m niveaux, à utiliser m codeurs E_i , $i = 1, \dots, m$, pour protéger ces m bits avec plusieurs niveaux de protection.

En d'autres termes, le principe du codage multi-niveaux repose sur l'optimisation conjointe du codage et de la modulation, permettant d'atteindre les meilleures performances de transmission. Ainsi, dans le cadre d'une modulation QAM ("Quadrature Amplitude Modulation" pour "modulation d'amplitude en quadrature"), on accorde une plus grande protection aux bits qui, du fait de leur position dans le mappage QAM, sont plus susceptibles d'être entachés d'erreur. La protection accordée aux différents bits est fonction du codage utilisé.

Le schéma de ce concept de codage est illustré par la figure 2. Le train de données à transmettre, de débit D , est divisé par le bloc de conversion série-parallèle 21 en m trains de débit D_i , $i = 1, \dots, m$. Les m premiers trains sont codés par m codes binaires E_i (n_i , k_i , d_i), $i = 1, \dots, m$, référencés 22, de taux de codage $R_i = k_i / n_i$ et de distance de Hamming minimale d_i . A l'entrée du modulateur 23, les m trains binaires doivent être synchrones, de débit D'/m . On peut donc définir un taux de codage équivalent R donné par :

$$(2) \quad R = D / D'$$

Si l'on suppose que tous les n_i sont égaux, soit $n_i = n$, $i = 1, \dots, m$, et que les m codes E_i sont des codes en bloc, on peut décrire ce codage par une structure

matricielle identique à celle utilisée pour les MCB décrites notamment par Sayegh dans l'article cité précédemment. Un mot de code contient n symboles et peut être représenté par une matrice à m lignes et n colonnes où la $j^{\text{ème}}$ colonne représente l'affectation binaire du $j^{\text{ème}}$ symbole du bloc, et la $i^{\text{ème}}$ ligne représente le $i^{\text{ème}}$ niveau de partition. La ligne i , $i = 1, \dots, m$ est un mot de code $E_i (n_i, k_i, d_i)$. La distance euclidienne minimale d obtenue avec ce codage, est donnée par :

$$(3) \quad d^2 = \min_{i=1, \dots, m+1} (d_i d_{i-1}^2), \quad \text{avec } d_{m+1} = 1.$$

Sachant que les d_i vérifient la relation (1) ci-dessus, le codage multi-niveaux est optimisé si :

$$(4) \quad d_1 > d_2 > \dots > d_m.$$

On a donc déterminé que le bit b_1 devrait être le bit le plus protégé, puis b_2 etc. Cette description matricielle peut être généralisée au cas où les codes seraient quelconques. Si les n_i ne sont pas identiques, il suffit de considérer une matrice à m lignes et l colonnes où l est le plus petit commun multiple des n_i , $i = 1, \dots, m$.

Dans le cas particulier où l'un des codes est un code convolutif, la matrice à considérer est semi-infinie.

Le procédé de décodage classiquement utilisé en association avec un tel codage multi-niveaux est un décodage par étapes sous-optimal, qui présente l'avantage d'être d'implantation très simple.

Selon cette technique, le procédé de décodage s'effectue par étapes où chaque bit est décodé de façon indépendante par un décodeur simple opérant sur des décisions fermes, mais où la sortie du décodeur (i) peut apporter une correction sur les bits à l'entrée du décodeur ($i+1$). La figure 3 donne le schéma bloc de ce type de décodeur, dans le cas où $m = 2$. Etant donné (r_1, r_2, \dots, r_n) le bloc de n symboles reçus à l'entrée du décodeur, l'opération de décodage se fait selon les étapes successives suivantes :

- on décode tout d'abord les n bits b^i , $i=1, \dots, n$ affectés au premier niveau de partition (A_0) : une décision ferme dans A_0 est effectuée sur tous les r_i , $i=1, \dots, n$. On obtient ainsi une première estimation de b^i , $i=1, \dots, n$, notée

$\tilde{b}_1^i, i=1, \dots, n$. Un décodage à décisions fermes 33 opérant sur $\tilde{b}_1^i, i=1, \dots, n$ fournit une estimation finale notée $\hat{b}_1^i, i=1, \dots, n$.

- on décode ensuite les n bits $b_2^i, i=1, \dots, n$, affectés au deuxième niveau de partition (B_0 ou B_1) : en fonction des bits $\hat{b}_1^i, i=1, \dots, n$, qui sont codés par le même codeur utilisé à l'émission, une deuxième opération de décision 34 est effectuée sur les symboles $r_p, i=1, \dots, n$ dans les sous-ensembles B_{p_i} avec $p_i = \hat{b}_1^i$ pour $i=1, \dots, n$. Les bits $\tilde{b}_2^i, i=1, \dots, n$ obtenus sont décodés par le décodeur "2" référencé 35 pour donner une décision finale $\hat{b}_2^i, i=1, \dots, n$.
- on décode enfin les bits non codés restants : à partir des bits $\hat{b}_1^i, \hat{b}_2^i, i=1, \dots, n$, recodés par leur codeur associé, on opère une troisième détection 36 de $r_p, i=1, \dots, n$, dans les sous-ensembles de deuxième niveau de partition $C_p, i=1, \dots, n$. On obtient ainsi une estimation des $m-2$ bits non codés restants pour chacun des symboles $r_p, i=1, \dots, n$.

Selon la technique de décodage associée au codage multi-niveaux MLC, le premier décodage s'effectue donc systématiquement dans le sous-ensemble A_0 de la constellation. Le résultat de ce décodage est ensuite exploité pour le décodage du sous-ensemble suivant B_0 .

Or, pour qu'un tel décodage MLC soit optimal, le gain de codage qu'il est nécessaire d'obtenir entre les différents niveaux de codage est de 6dB, ce qui est très difficile à obtenir.

Un inconvénient de cette technique de l'art antérieur est donc que le procédé de décodage classiquement mis en œuvre dans le cadre du codage MLC présente des performances médiocres.

Notamment, une telle technique de décodage sous-optimal par étapes est peu adaptée aux canaux présentant un bruit additif gaussien et aux canaux à trajets multiples affectés de Doppler.

L'invention a notamment pour objectif de pallier ces inconvénients de l'art antérieur.

Plus précisément, un objectif de l'invention est de fournir une technique de décodage d'un signal modulé selon une technique de codage MLC, présentant des performances accrues par rapport aux techniques de l'art antérieur.

Un autre objectif de l'invention est de mettre en œuvre une telle technique,
5 qui permette de réduire le taux d'erreurs binaires (ou TEB) par rapport à la technique de décodage sous-optimal de l'art antérieur.

L'invention a encore pour objectif de fournir une telle technique qui soit simple et peu coûteuse à mettre en œuvre, et qui soit adaptée aux canaux sujets à perturbations, et notamment aux canaux présentant un bruit additif gaussien et aux
10 canaux à trajets multiples affectés de Doppler.

Ces objectifs, ainsi que d'autres qui apparaîtront par la suite, sont atteints à l'aide d'un procédé de réception d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte. Un tel signal comprend une pluralité de
15 symboles comprenant chacun au moins un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage, et un tel procédé de réception comprend au moins une itération de décodage comprenant des étapes successives de décodage de chacun desdits bits reçus, l'une au moins desdites étapes de décodage tenant compte du résultat d'au moins une éventuelle étape de décodage précédente.

Selon l'invention, on décode lesdits bits selon un ordre prédéterminé tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus robuste, étant décodé(s) en premier.
20

Ainsi, l'invention repose sur une approche tout à fait nouvelle et inventive
25 du décodage d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux. En effet, contrairement au procédé de décodage sous-optimal utilisé dans l'art antérieur, l'invention propose de réaliser un décodage des différents niveaux de partition qui tienne compte de la vulnérabilité de ces derniers vis-à-vis du bruit. Ainsi, on décode en premier le niveau le plus robuste, afin de pouvoir ensuite
30 propager le résultat du décodage de ce niveau aux niveaux moins robustes. On

obtient ainsi des performances de décodage fortement accrues par rapport aux techniques de décodage sous-optimales de l'art antérieur.

Avantageusement, ledit ordre prédéterminé correspond à l'ordre décroissant de la robustesse des niveaux de codage auxquels sont affectés lesdits
5 bits reçus.

Préférentiellement, chacune desdites étapes successives de décodage tient compte du résultat de la ou lesdites étape(s) de décodage précédente(s), de façon à améliorer le résultat desdites étapes de décodage desdits bits affectés aux niveaux moins robustes.

10 Ainsi, le résultat du décodage des bits d'un niveau de robustesse donné est systématiquement exploité lors du décodage des bits du niveau de robustesse directement inférieur, ce qui permet d'améliorer fortement la confiance que l'on peut accorder à ce deuxième décodage.

Selon une variante avantageuse de l'invention, lesdits bits affectés audit
15 niveau le plus robuste sont les bits les plus significatifs dudit symbole correspondant.

Cette variante de réalisation correspond notamment au mode de mise en œuvre particulier retenu par le consortium de normalisation DRM (Digital Radio Mondiale, tel que présenté dans le document ETSI ES 201 980 V1.2.1 (2002-07)).

20 De manière préférentielle, au sein d'une desdites itérations de décodage, chacune desdites étapes successives de décodage desdits bits reçus est précédée d'une étape de démodulation correspondante.

Les bits reçus sont donc tout d'abord démodulés, puis décodés.

De manière avantageuse, un tel procédé de réception comprend au moins
25 deux itérations de décodage successives, une étape de décodage des bits d'un niveau donné tenant compte, lors de la $n^{\text{ième}}$ itération, où $n \geq 2$, du résultat d'au moins certaines desdites étapes de décodage desdits bits reçus affectés aux niveaux de codage moins robustes que ledit niveau donné, et mises en œuvre lors d'au moins une desdites itérations précédentes.

Ainsi, dans un cas particulier comprenant trois niveaux de codage, le décodage des bits du niveau le plus robuste tient compte notamment, lors de la deuxième itération, du résultat du décodage des bits des deux niveaux les moins robustes obtenu lors de la première itération.

5 Préférentiellement, un tel procédé de réception comprend deux itérations de décodage successives.

En effet, les inventeurs ont constaté que l'accroissement des performances résultant de la mise en œuvre d'une troisième itération était faible, ou à tout le moins négligeable par rapport à l'augmentation de la complexité correspondante.

10 Avantageusement, à l'issue d'au moins certaines desdites itérations, un tel procédé de réception met en œuvre une étape d'estimation d'un symbole émis, et une étape de calcul d'une information extrinsèque tenant compte dudit symbole émis estimé, ladite information extrinsèque permettant d'améliorer le résultat desdites étapes de décodage de la ou lesdites itérations suivantes.

15 Ainsi, après la première itération de décodage, on calcule une information extrinsèque qui sera utilisée lors de la deuxième itération de décodage, pour en accroître les performances.

De manière avantageuse, ladite information extrinsèque est de la forme : $\alpha(S_r - S_e)$, où $\alpha \in [0, 1]$, S_r est ledit symbole reçu et S_e est ledit symbole émis
20 estimé.

Dans le cas particulier où deux itérations successives sont mises en œuvre, l'information extrinsèque est donc proportionnelle à la différence du symbole reçu et du symbole estimé à partir des bits décodés des différents niveaux lors de la première itération. Cette différence est pondérée par un coefficient caractéristique
25 de la confiance accordée au décodage.

Dans un premier mode de réalisation avantageux de l'invention, α est sensiblement égal à 0,25.

Une telle valeur de α permet d'obtenir des performances satisfaisantes lors de la deuxième itération de décodage, pour la plupart des canaux de transmission
30 considérés.

Dans un deuxième mode de réalisation avantageux, un tel procédé de réception comprend une étape d'optimisation de la valeur de α en fonction du rapport signal à bruit.

5 Par l'intermédiaire du coefficient α , on peut en effet choisir d'accorder une plus ou moins grande confiance, dans l'information extrinsèque, au symbole émis estimé, afin d'en tenir plus ou moins compte lors des itérations de décodage suivantes. L'optimisation de la valeur de α en fonction du rapport signal à bruit conduit à des valeurs de α proches de 1 lorsque le rapport signal à bruit est très bon, et à des valeurs proches de 0 dans le cas contraire.

10 Selon une caractéristique avantageuse de l'invention, un tel procédé de réception comprend en outre une étape de détermination d'un rapport signal à bruit à partir d'au moins une information de référence émise, appelée pilote, dont la valeur est connue a priori en réception.

On rappelle en effet que pour estimer le canal de transmission en OFDM
15 par exemple, une technique classique consiste à insérer, dans le flux de porteuses utiles, des porteuses de référence, à des emplacements connus du récepteur. En réception, les valeurs prises par ces porteuses de référence, appelées pilotes, sont lues, et on en déduit aisément le gain complexe du canal à ces emplacements de référence. On dérive alors le gain complexe du canal sur l'ensemble des points du
20 réseau temps-fréquence transmis, à partir de la valeur calculée du gain complexe aux emplacements de référence.

Un tel mécanisme à base de pilotes peut donc être utilisé, dans le cadre de l'invention, pour déterminer le rapport signal à bruit, et donc optimiser α . Il est notamment utilisé par la norme DVB-T ("Digital Video Broadcasting (DVB) ;
25 Framing Structure, Channel Coding and Modulation for Terrestrial Television (DVB-T)", "Diffusion vidéo numérique (DVB) ; structure de trame, codage de canal et modulation pour la télévision numérique terrestre (DVB-T), ETS 300 744, Mars 1997).

Selon un mode de réalisation avantageux de l'invention, un tel procédé de
30 réception comprend en outre, pour au moins certains desdits niveaux de codage,

une étape supplémentaire de désentrelacement mise en œuvre entre lesdites étapes de démodulation et de décodage desdits bits reçus.

Un tel mode de réalisation permet notamment d'améliorer les performances du procédé de réception vis-à-vis des canaux de transmission affectés de Doppler.

L'invention concerne également un procédé de décodage d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte, ledit signal comprenant une pluralité de symboles comprenant chacun au moins un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage, ledit procédé comprenant au moins une itération de décodage comprenant des étapes successives de décodage de chacun desdits bits reçus, l'une au moins desdites étapes de décodage tenant compte du résultat d'au moins une éventuelle étape de décodage précédente.

Selon l'invention, on décode lesdits bits selon un ordre prédéterminé tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus robuste, étant décodé(s) en premier.

L'invention concerne aussi un dispositif de réception d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte, ledit signal comprenant une pluralité de symboles comprenant chacun au moins un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage, ledit dispositif comprenant des moyens de décodage mettant en œuvre un décodage successif de chacun desdits bits reçus, le décodage de l'un au moins desdits bits reçus tenant compte du résultat d'au moins un éventuel décodage précédent.

Selon l'invention, lesdits moyens de décodage décodent lesdits bits selon un ordre prédéterminé tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus robuste, étant décodé(s) en premier.

L'invention concerne encore un système de codage/décodage d'un signal comprenant une pluralité de symboles comprenant chacun au moins un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage.

Un tel système comprend au moins un dispositif de codage permettant de
5 moduler ledit signal selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte, et au moins un dispositif de décodage comprenant des moyens de décodage mettant en œuvre un décodage successif de chacun desdits bits reçus, le décodage de l'un au moins desdits bits reçus tenant compte du résultat d'au moins
10 un éventuel décodage précédent, lesdits moyens de décodage décodant lesdits bits selon un ordre prédéterminé tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus robuste, étant décodé(s) en premier.

15 L'invention concerne enfin les applications du procédé de réception décrit précédemment à l'un au moins des domaines suivants :

- les transmissions radio numériques, notamment de type DRM ("Digital Radio Mondiale") ;
- les codes correcteurs d'erreurs ;
- 20 - le traitement numérique du signal ;
- les communications numériques ;
- l'enregistrement/restitution d'un signal numérique.

D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront plus clairement à la lecture de la description suivante d'un mode de réalisation
25 préférentiel, donné à titre de simple exemple illustratif et non limitatif, et des dessins annexés, parmi lesquels :

- la figure 1, déjà décrite en relation avec l'art antérieur, présente un exemple de partition d'une constellation A_0 en m niveaux, donnant 2^m sous-ensembles, quand $m=2$;
- 30 - la figure 2, déjà décrite en relation avec l'art antérieur, présente un

synoptique d'un codeur multi-niveaux ;

- la figure 3, également décrite en relation avec l'art antérieur, présente un schéma synoptique du décodeur par étapes mis en œuvre dans l'art antérieur, en association avec le codeur multi-niveaux de la figure 2, dans le cas d'un codage à trois niveaux ;
- la figure 4 présente une comparaison de la robustesse de différents niveaux de codage MLC en fonction d'un bruit blanc additif gaussien ;
- la figure 5 présente un exemple de récepteur selon l'invention, réalisant le décodage optimisé d'un symbole MAQ64 avec deux itérations et utilisation de l'information extrinsèque ;
- la figure 6 illustre les performances de décodage comparées des MLC selon le procédé de décodage sous-optimal de l'état de la technique et selon le procédé de décodage de l'invention.

Le principe général de l'invention repose sur la prise en compte de la robustesse au bruit des différents niveaux de codage d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux MLC, pour déterminer l'ordre de décodage des bits reçus.

On présente, en relation avec la figure 4, le concept de robustesse d'un niveau de codage, dans le cadre d'une technique de codage multi-niveaux MLC.

La robustesse d'un niveau de codage peut être illustrée par la courbe du taux d'erreurs binaires de ce niveau, en fonction du rapport signal à bruit (S/N) : dans tout le document, on considèrera qu'un niveau de codage est d'autant plus robuste que le taux d'erreur binaire qui lui est associé est faible.

En décodant chaque niveau de codage indépendamment, c'est-à-dire sans effectuer un quelconque rebouclage d'un niveau sur l'autre (en d'autres termes, le résultat du décodage d'un niveau n'est pas utilisé lors du décodage du niveau suivant), il est possible de déterminer le niveau de robustesse de chaque niveau vis-à-vis du bruit. Plus particulièrement, la figure 4 illustre la robustesse de chaque niveau de codage MLC vis-à-vis d'un bruit blanc additif gaussien.

Ainsi, le consortium de normalisation DRM (Digital Radio Mondiale, tel que présenté dans le document ETSI ES 201 980 V1.2.1 (2002-07)) a retenu le codage multi-niveaux MLC pour la diffusion d'un signal numérique dans les bandes AM (en anglais "Amplitude Modulated" pour "modulées en amplitude"), dont les fréquences sont inférieures à 30MHz. L'un des modes retenus par DRM comprend une modulation 64QAM (en anglais "Quadrature Amplitude Modulation" pour "modulation d'amplitude en quadrature") avec un rendement de codage global de $R=0,6$ avec $R_{\text{MSB}}=0,8$, $R_{\text{ISB}}=0,67$ et $R_{\text{LSB}}=0,33$, où MSB représente l'ensemble des bits les plus significatifs ("Most Significant Bits" en anglais), LSB représente l'ensemble des bits les moins significatifs (en anglais "Least Significant Bits") et ISB représente l'ensemble des bits intermédiaires ("Intermediate Significant Bits").

Ainsi, un point de la constellation 64QAM correspond à un ensemble de trois bits, à savoir un bit affecté au niveau MSB, un bit du niveau ISB, et un bit du niveau LSB.

En décodant les trois niveaux de la modulation QAM, MSB, ISB et LSB, on remarque que le niveau le plus robuste est celui qui correspond aux bits MSB (courbe référencée 41), puis aux bits LSB (courbe référencée 42) et enfin au niveau intermédiaire ISB (courbe référencée 43), ainsi qu'illustré par la figure 4. En effet, la courbe de TEB 41 associée au niveau MSB est celle qui décroît le plus rapidement en fonction du rapport signal à bruit (S/N), et la courbe de TEB 43 associée au niveau ISB est celle qui décroît le plus lentement en fonction du rapport signal à bruit (S/N).

Cependant, on peut analyser à nouveau les performances des niveaux ISB et LSB, en effectuant un re-bouclage du niveau le plus robuste (MSB), c'est-à-dire en tenant compte du résultat du décodage du niveau MSB lors du décodage des niveaux ISB et LSB.

On constate alors que le niveau ISB devient le deuxième niveau le plus robuste, devant le niveau LSB : ainsi, l'ordre décroissant de robustesse des niveaux de codage est MSB-ISB-LSB.

Selon la technique proposée par l'invention, l'ordre du décodage des MLC optimal est donc l'ordre décroissant de robustesse MSB-ISB-LSB.

On présente désormais, en relation avec la figure 5, un exemple de réalisation d'un récepteur selon l'invention.

5 Le fonctionnement d'un tel récepteur repose sur quatre principes principaux :

- le premier principe repose sur la démodulation, puis le décodage, tout d'abord du niveau le plus robuste, le résultat d'un tel décodage permettant d'améliorer la démodulation, et donc le décodage, des niveaux moins robustes. Cette opération est répétée jusqu'au niveau de codage le moins robuste ;
- 10 - le second principe mis en œuvre par un récepteur selon l'invention est celui d'un processus itératif. En effet, après démodulation et décodage de tous les niveaux, l'opération peut être répétée, de façon à améliorer la démodulation du niveau le plus robuste à l'aide du résultat du décodage des niveaux inférieurs ;
- 15 - le troisième principe de fonctionnement repose sur la mise en œuvre d'un test de la pertinence de la correction du signal démodulé en fonction de l'amplitude du signal correctif par rapport au signal à démoduler ;
- 20 - enfin, un tel récepteur utilise une information extrinsèque, entre chaque itération, dans le but d'améliorer la démodulation et donc le décodage du signal reçu.

Ces quatre principes sont présentés plus en détail en relation avec la figure 5, qui présente un mode de réalisation particulier, dans le cadre d'une modulation MAQ64 (Modulation d'Amplitude en Quadrature). Il sera bien sûr aisé, pour l'Homme du Métier, de généraliser cette description à tout type de modulation multi-niveaux.

Dans le mode de réalisation particulier de la figure 5, le niveau le plus robuste correspond au niveau de codage des bits de poids fort (MSB pour "Most Significant Bits") et le niveau le moins robuste correspond aux bits de poids faible

30

(LSB pour "Least Significant Bits"). Comme expliqué précédemment en relation avec la figure 4, la robustesse d'un niveau de codage vis-à-vis du bruit est inversement proportionnelle au taux d'erreur de ce niveau. En outre, le taux d'erreur est fonction du rendement du codage, de la puissance associée à chaque bit (encore appelée niveau du bit) et du rapport signal à bruit (en effet, les erreurs observées sur le signal dépendent bien sûr du bruit qui l'affecte).

On comprendra donc aisément que le niveau le plus robuste n'est pas nécessairement le niveau des bits les plus significatifs. A titre d'illustration, on s'attache cependant dans la suite de la description à présenter un mode de réalisation de l'invention dans ce cas particulier.

Le récepteur de la figure 5 comprend deux étages référencés 51 et 52, correspondant à deux itérations de décodage successives. En effet, les inventeurs ont constaté que l'amélioration des performances du décodage résultant de la mise en œuvre d'une troisième itération de décodage était faible et, dans un mode de réalisation préférentiel de l'invention, seules deux itérations du processus de décodage sont mises en œuvre. On obtient ainsi un bon compromis performance/complexité.

On décrit tout d'abord le premier étage de décodage référencé 51. Cet étage est alimenté par le symbole MAQ64 reçu, encore appelé S_r , qui est distribué vers les trois démodulateurs référencés 511 à 513, assurant respectivement les démodulations MSB, ISB et LSB. Le symbole reçu S_r est formé de trois bits X_{RMSB} , X_{RISB} , X_{RLSB} affectés respectivement aux niveaux MSB, ISB et LSB, ce qui peut être exprimé sous la forme : $S_r = X_{RMSB} + X_{RISB} + X_{RLSB}$.

La première étape mise en œuvre à la réception du symbole S_r consiste à démoduler les bits affectés au niveau le plus robuste au bruit, c'est-à-dire en l'espèce les bits de poids fort (MSB). On obtient, en sortie du démodulateur 511, les bits démodulés \tilde{b}_3^i , $i=1, \dots, n$, qui alimentent le décodeur référencé 514. Après décodage par le décodeur 514, on obtient les bits décodés \hat{b}_3^i , $i=1, \dots, n$.

La deuxième étape consiste à coder les bits décodés \hat{b}_3^i , $i=1, \dots, n$ avec le codeur utilisé à l'émission, appelé "codeur 3", référencé 517. Les bits ainsi codés

alimentent le démodulateur ISB référencé 512, qui en tient compte pour démoduler les bits de poids intermédiaires (ISB) $\tilde{b}_2^i, i=1, \dots, n$. Les bits de poids intermédiaires démodulés sont fournis en entrée du décodeur référencé 515, qui délivre, après décodage, les bits de poids intermédiaire décodés $\hat{b}_2^i, i=1, \dots, n$. On

5 notera que le niveau de codage ISB est ici le niveau de robustesse au bruit intermédiaire, et qu'il est donc démodulé et décodé directement après le niveau MSB.

Les bits de poids intermédiaire décodés $\hat{b}_2^i, i=1, \dots, n$ sont en outre fournis en entrée du codeur référencé 518, qui est identique au codeur utilisé à l'émission

10 pour le niveau ISB.

En utilisant les bits recodés des niveaux de robustesse supérieurs (MSB et ISB), on peut ensuite démoduler les bits du niveau le moins robuste, qui, dans le mode de réalisation particulier décrit en relation avec la figure 5, correspond au niveau des bits de poids faibles (LSB).

15 Pour ce faire, le dispositif de démodulation LSB référencé 513 est alimenté par les bits recodés issus des codeurs référencés 517 et 518 des niveaux les plus robustes MSB et ISB, et délivre les bits démodulés de poids faible $\tilde{b}_1^i, i=1, \dots, n$. Après décodage par le décodeur référencé 516, on obtient les bits de poids faible décodés $\hat{b}_1^i, i=1, \dots, n$.

20 Les bits de poids faible décodés \hat{b}_1^i peuvent en outre alimenter le codeur référencé 519, qui est identique au codeur utilisé à l'émission pour le niveau LSB.

Après décodage des 3 niveaux de la constellation MAQ, il est possible de déterminer (520) une estimation du symbole émis, à partir des bits recodés délivrés par les trois codeurs référencés 517 à 519.

25 Ainsi, dans le mode de réalisation particulier décrit en relation avec la figure 5, le symbole émis S_e est de la forme $S_e = 4b_{\text{MSB}} + 2b_{\text{ISB}} + b_{\text{LSB}}$, où b_{MSB} , b_{ISB} et b_{LSB} correspondent respectivement aux bits des niveaux MSB, ISB et LSB.

A partir du symbole émis estimé, on calcule la distance euclidienne entre le symbole émis S_e et le symbole reçu S_r , en pondérant cette distance par un

30 coefficient α ($0 < \alpha < 1$). On détermine ainsi une information extrinsèque $\alpha(S_r - S_e)$

521, qui peut être utilisée dans le deuxième étage 52 du récepteur, pour améliorer le décodage des itérations suivantes.

Le deuxième étage de décodage 52 fonctionne de manière similaire au premier étage référencé 51. Il comprend notamment trois dispositifs de
5 démodulation référencés 521 à 523, et trois décodeurs référencés 524 à 526 associés respectivement aux trois niveaux de codage MSB, ISB et LSB.

La première étape mise en œuvre au sein de cet étage 52 est la démodulation du niveau le plus robuste MSB par le bloc référencé 521. Un tel bloc 521 est alimenté, d'une part, par les bits recodés des niveaux moins robustes
10 ISB et LSB, issus des codeurs référencés 518 et 519 du premier étage de décodage 51, et d'autre part, par le symbole reçu S_r auquel a été soustraite l'information extrinsèque $\alpha(S_r - S_e)$, soit $S_r(1 - \alpha) + \alpha S_e$.

Le coefficient α est préférentiellement choisi proche de 0,25. Dans une variante de réalisation, la valeur du coefficient α est optimisée en fonction du
15 rapport signal à bruit. De cette façon, en fonction du rapport signal à bruit, on peut choisir d'accorder une plus ou moins grande confiance à l'estimation 520 du symbole émis, pour en tenir plus ou moins compte lors de la deuxième itération de décodage, et notamment lors du décodage du niveau le plus robuste MSB.

Ainsi, si le rapport signal à bruit est très bon, on choisira α proche de 1.
20 Dans le cas contraire, α sera choisi proche de 0.

Une telle optimisation de α peut notamment être précédée d'une étape de détermination du rapport signal à bruit, au moyen de pilotes, insérés dans le signal émis. Selon une technique connue, les pilotes constituent des informations de référence, dont la valeur est connue a priori du récepteur. En comparant cette
25 valeur prédéterminée des pilotes à la valeur des pilotes reçus, le récepteur peut, par division, estimer la fonction de transfert du canal de transmission, et donc le rapport signal à bruit affectant le signal émis. Cette technique permet en outre d'évaluer la robustesse des différents niveaux de codage.

Après démodulation par le bloc référencé 521, on obtient de nouveaux bits
30 démodulés \tilde{b}_i , $i=1, \dots, n$, améliorés par rapport aux bits correspondants issus du

bloc de démodulation référencé 511, du fait de la prise en compte conjointe de l'information extrinsèque et du résultat du décodage des niveaux moins robustes LSB et ISB du premier étage de décodage 51.

Ces bits \tilde{b}_3^i , $i=1, \dots, n$ démodulés alimentent le décodeur référencé 524, qui
 5 délivre des bits décodés améliorés \hat{b}_3^i , $i=1, \dots, n$. Comme précédemment, ces bits sont recodés par le codeur, identique à celui de l'émission, référencé 527, puis alimentent le dispositif de démodulation du niveau ISB référencé 522. Ce dispositif de démodulation 522 est en outre alimenté en entrée par la différence entre le symbole reçu et l'information extrinsèque, sous la forme $S_r (1-\alpha) + \alpha S_e$, et
 10 par les bits recodés du niveau le moins robuste LSB, issus du codeur référencé 519.

Le démodulateur ISB 522 délivre des bits de poids intermédiaire démodulés \tilde{b}_2^i , $i=1, \dots, n$, qui alimentent le décodeur référencé 525 délivrant des bits décodés améliorés \hat{b}_2^i , $i=1, \dots, n$.

15 A nouveau, ces bits \hat{b}_2^i , $i=1, \dots, n$ sont recodés au moyen du codeur, identique à celui utilisé à l'émission, référencé 528, puis sont fournis en entrée du bloc de démodulation du niveau le moins robuste LSB référencé 523. Ce bloc de démodulation référencé 523 est en outre alimenté par la différence entre le symbole reçu et l'information extrinsèque, sous la forme $S_r (1-\alpha) + \alpha S_e$. Il délivre
 20 donc des bits démodulés \tilde{b}_1^i , $i=1, \dots, n$ améliorés par rapport aux bits correspondants issus du premier étage de décodage référencé 513, qui alimentent le décodeur référencé 526, ce dernier délivrant des bits décodés améliorés \hat{b}_1^i , $i=1, \dots, n$.

25 La mise en œuvre de ces deux itérations de décodage successives, conjuguées à l'utilisation d'une information extrinsèque, permet d'obtenir des résultats de performance accrues par rapport aux techniques de l'art antérieur, et notamment par rapport au procédé de décodage par étapes sous-optimal classiquement mis en œuvre pour le décodage de signaux modulés selon une technique de codage multi-niveaux.

Ces performances sont illustrées par les courbes de la figure 6, présentant respectivement les taux d'erreurs binaires obtenus, en fonction du rapport signal à bruit S/N, pour le procédé de décodage de l'invention d'une part, et pour le procédé de décodage sous-optimal de l'état de la technique d'autre part.

5 Ainsi, on constate que la courbe référencée 61 du taux d'erreurs binaires obtenu selon l'invention décroît beaucoup plus rapidement, en fonction du rapport S/N, que la courbe de TEB référencée 62 obtenue selon le procédé de décodage par étapes de l'art antérieur.

10 Dans le cadre du consortium DRM présenté précédemment, il a été établi qu'un taux d'erreurs binaires TEB de 10^{-4} constituait le seuil de fonctionnement du système. On notera, en regard de la figure 6, qu'un gain d'environ 2 dB est obtenu, pour ce seuil de 10^{-4} , entre la technique de décodage de l'art antérieur et le procédé de décodage de l'invention.

15 On pourrait encore améliorer les performances du système de l'invention vis-à-vis des canaux de transmission affectés de Doppler notamment, en ajoutant un entrelaceur, sur chaque niveau de codage, à l'émission. Le récepteur de la figure 5 comprendrait alors des moyens de désentrelacement, qui seraient mis en oeuvre, pour chaque niveau, après la démodulation et avant le décodage.

20 On notera que tout type de code peut-être utilisé dans le cadre de l'invention, et notamment les turbo-codes. Notamment, on peut envisager de mettre en œuvre un turbo-code pour chacun des niveaux de codage.

REVENDICATIONS

1. Procédé de réception d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte,
- 5 ledit signal comprenant une pluralité de symboles comprenant chacun au moins un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage, ledit procédé comprenant au moins une itération de décodage comprenant des étapes successives de décodage de chacun desdits bits reçus, l'une au moins desdites étapes de décodage tenant compte du résultat d'au moins une éventuelle
10 étape de décodage précédente, caractérisé en ce qu'on décode lesdits bits selon un ordre prédéterminé tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus robuste, étant décodé(s) en premier,
- 15 et en ce que ledit procédé comprend au moins deux itérations de décodage successives.
2. Procédé de réception selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit ordre prédéterminé correspond à l'ordre décroissant de la robustesse des niveaux de codage auxquels sont affectés lesdits bits reçus.
- 20 3. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que chacune desdites étapes successives de décodage tient compte du résultat de la ou lesdites étape(s) de décodage précédente(s), de façon à améliorer le résultat desdites étapes de décodage desdits bits affectés aux niveaux moins robustes.
- 25 4. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que lesdits bits affectés audit niveau le plus robuste sont les bits les plus significatifs dudit symbole correspondant.
5. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que au sein d'une desdites itérations de décodage, chacune
30 desdites étapes successives de décodage desdits bits reçus est précédée d'une étape

de démodulation correspondante.

6. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce qu'une étape de décodage des bits d'un niveau donné tient compte, lors de la $n^{\text{ième}}$ itération de décodage, où $n \geq 2$, du résultat d'au moins
5 certaines desdites étapes de décodage desdits bits reçus affectés aux niveaux de codage moins robustes que ledit niveau donné, et mises en œuvre lors d'au moins une desdites itérations précédentes.
7. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, caractérisé en ce qu'il comprend deux itérations de décodage successives.
- 10 8. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 6 et 7, caractérisé en ce qu'à l'issue d'au moins certaines desdites itérations, il met en œuvre une étape d'estimation d'un symbole émis, et une étape de calcul d'une information extrinsèque tenant compte dudit symbole émis estimé, ladite information extrinsèque permettant d'améliorer le résultat desdites étapes de
15 décodage de la ou lesdites itérations suivantes.
9. Procédé de réception selon la revendication 8, caractérisé en ce que ladite information extrinsèque est de la forme : $\alpha(S_r - S_e)$, où $\alpha \in [0, 1]$, S_r est ledit symbole reçu et S_e est ledit symbole émis estimé.
10. Procédé de réception selon la revendication 9, caractérisé en ce que α
20 est sensiblement égal à 0,25.
11. Procédé de réception selon la revendication 9, caractérisé en ce qu'il comprend une étape d'optimisation de la valeur de α en fonction du rapport signal à bruit.
12. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 1 à
25 11, caractérisé en ce que il comprend en outre une étape de détermination d'un rapport signal à bruit à partir d'au moins une information de référence émise, appelée pilote, dont la valeur est connue a priori en réception.
13. Procédé de réception selon l'une quelconque des revendications 5 à
30 12, caractérisé en ce qu'il comprend en outre, pour au moins certains desdits niveaux de codage, une étape supplémentaire de désentrelacement mise en œuvre

entre lesdites étapes de démodulation et de décodage desdits bits reçus.

14. Procédé de décodage d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte,

5 ledit signal comprenant une pluralité de symboles comprenant chacun au moins un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage,

ledit procédé comprenant au moins une itération de décodage comprenant des étapes successives de décodage de chacun desdits bits reçus, l'une au moins desdites étapes de décodage tenant compte du résultat d'au moins une éventuelle

10 étape de décodage précédente,

caractérisé en ce qu'on décode lesdits bits selon un ordre prédéterminé tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus robuste, étant décodé(s) en premier,

15 et en ce que ledit procédé comprend au moins deux itérations de décodage successives.

15. Dispositif de réception d'un signal modulé selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte,

20 ledit signal comprenant une pluralité de symboles comprenant chacun au moins un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage,

ledit dispositif comprenant des moyens de décodage mettant en œuvre un décodage successif de chacun desdits bits reçus, le décodage de l'un au moins desdits bits reçus tenant compte du résultat d'au moins un éventuel décodage

25 précédent,

caractérisé en ce que lesdits moyens de décodage décodent lesdits bits selon un ordre prédéterminé tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus robuste, étant décodé(s) en premier,

30 et en ce que lesdits moyens de décodage réalisent au moins deux itérations de

décodage successives.

16. Système de codage/décodage d'un signal comprenant une pluralité de symboles comprenant chacun au moins un bit, affecté à l'un desdits niveaux de codage,

5 caractérisé en ce qu'il comprend au moins un dispositif de codage permettant de moduler ledit signal selon une technique de codage multi-niveaux, comprenant au moins deux niveaux de codage présentant chacun une robustesse au bruit distincte,

et au moins un dispositif de décodage comprenant des moyens de décodage
10 mettant en œuvre un décodage successif de chacun desdits bits reçus, le décodage de l'un au moins desdits bits reçus tenant compte du résultat d'au moins un éventuel décodage précédent,

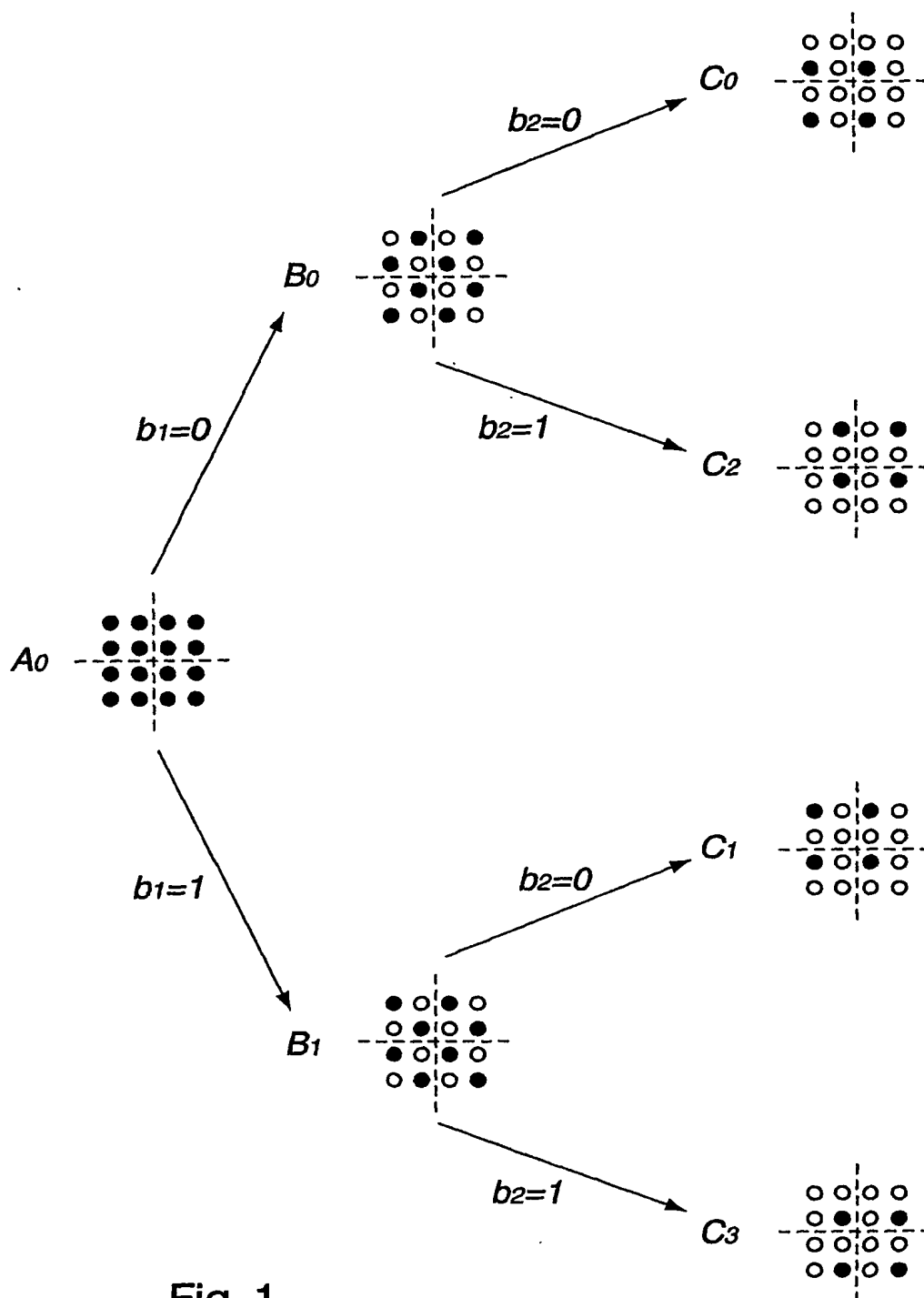
lesdits moyens de décodage décodant lesdits bits selon un ordre prédéterminé tenant compte de la robustesse desdits niveaux, le ou les bits affectés au niveau de
15 codage présentant la plus grande robustesse au bruit, appelé niveau le plus robuste, étant décodé(s) en premier,

lesdits moyens de décodage réalisant au moins deux itérations de décodage successives.

17. Application du procédé de réception selon l'une quelconque des
20 revendications 1 à 13 à l'un au moins des domaines suivants :

- les transmissions radio numériques, notamment de type DRM ("Digital Radio Mondiale") ;
- les codes correcteurs d'erreurs ;
- le traitement numérique du signal ;
- 25 - les communications numériques ;
- l'enregistrement/restitution d'un signal numérique.

1/4

Fig. 1

2/4

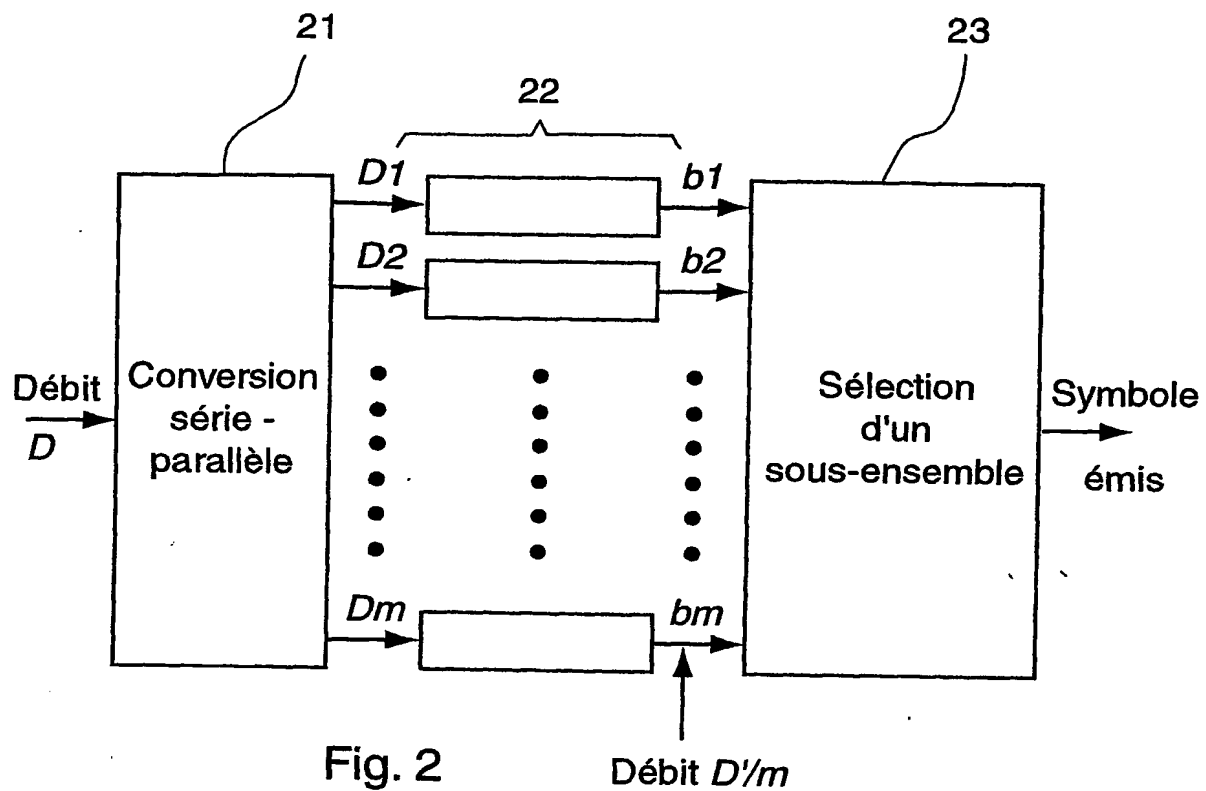


Fig. 2

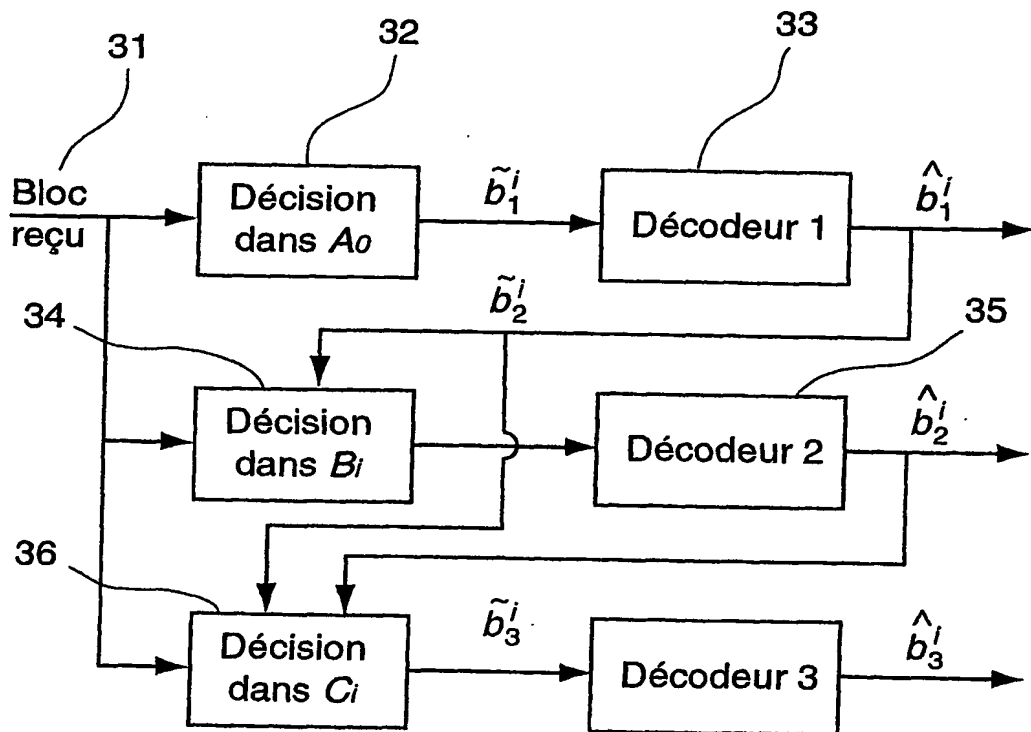
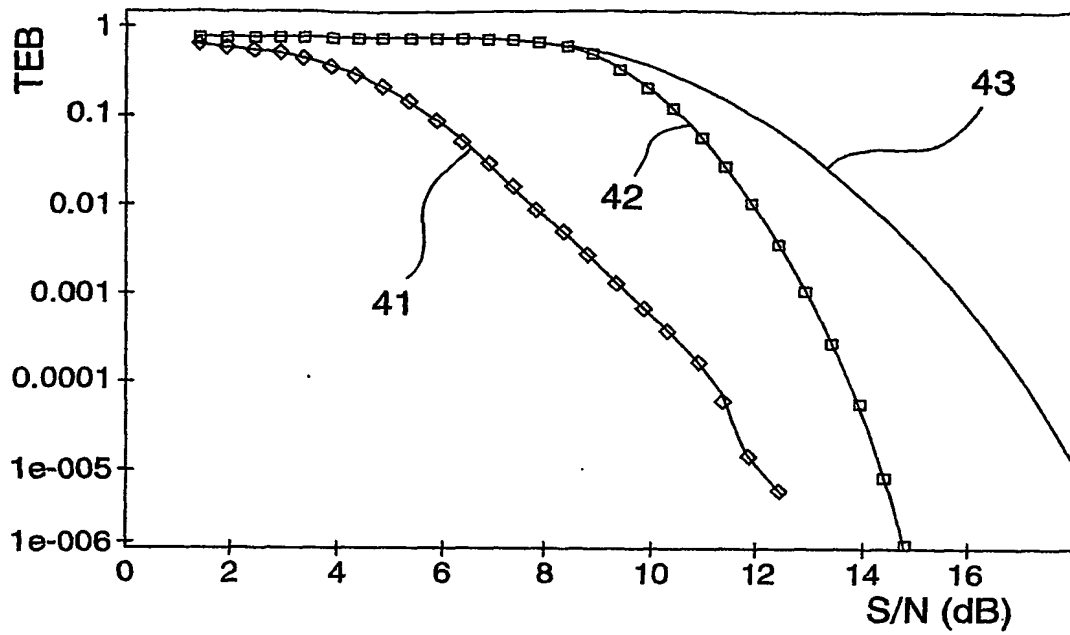
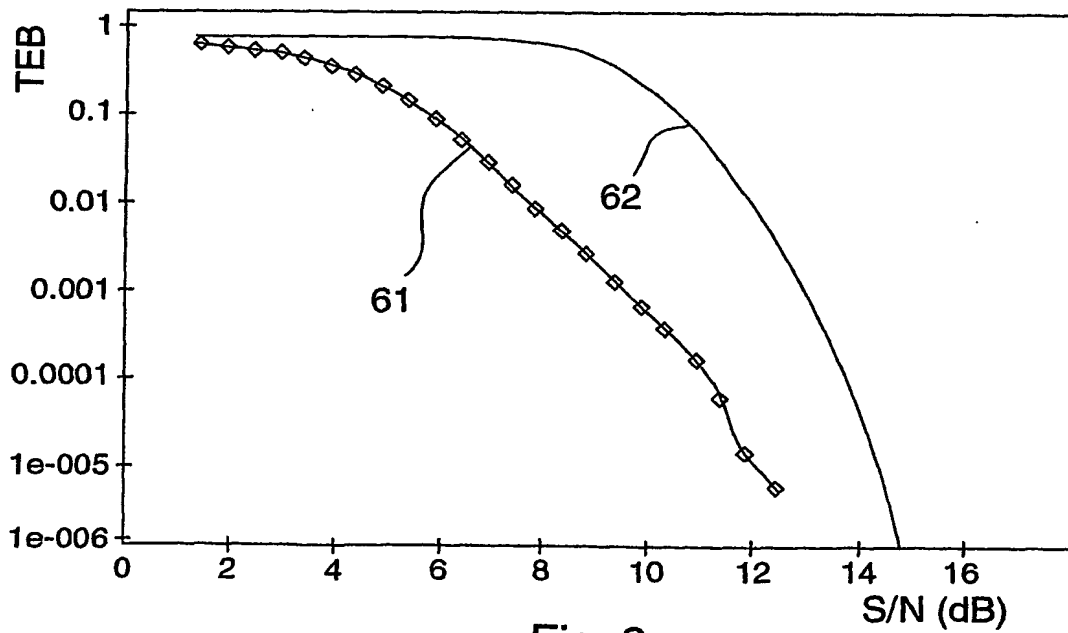


Fig. 3

3/4

Fig. 4Fig. 6

4/4

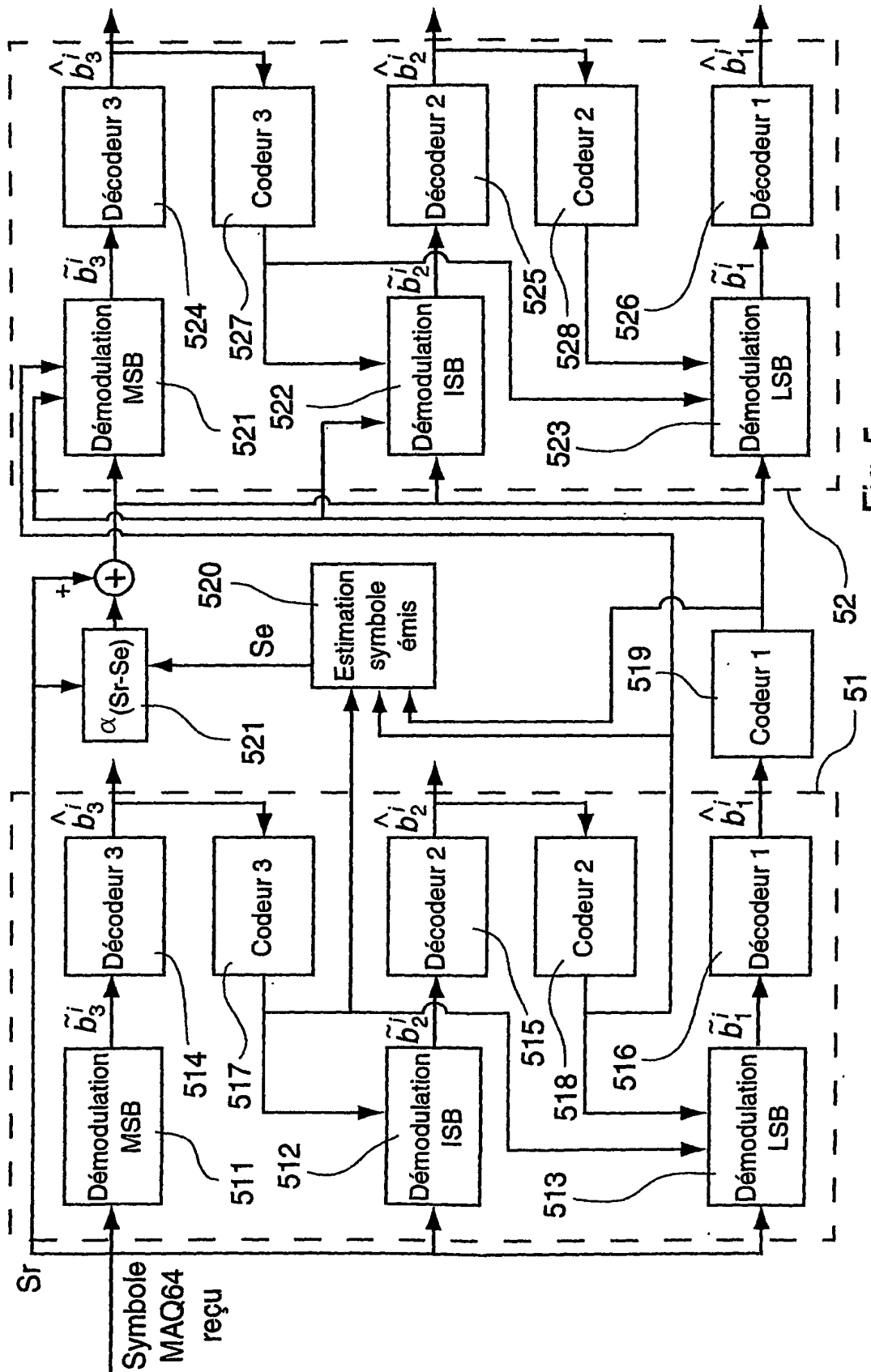


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/03/02878

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H04L1/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	PAPKE L ET AL: "Different iterative decoding algorithms for combined concatenated coding and multiresolution modulation" COMMUNICATIONS, 1994. ICC '94, SUPERCOMM/ICC '94, CONFERENCE RECORD, 'SERVING HUMANITY THROUGH COMMUNICATIONS.' IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEW ORLEANS, LA, USA 1-5 MAY 1994, NEW YORK, NY, USA, IEEE, 1 May 1994 (1994-05-01), pages 1249-1254, XP010126691 ISBN: 0-7803-1825-0 page 1250, left-hand column, paragraph 2.1 page 1250, left-hand column, line 21 -right-hand column, line 17	1-8, 13-17
Y	page 1250, right-hand column, line 37 -page 1251, left-hand column, line 3 page 1251, left-hand column, line 21 - -/--	9,10

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 February 2004

Date of mailing of the international search report

02/03/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 6818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Papantoniou, A

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/F/02878

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
	<p>line 45 page 1251, right-hand column, line 9 - line 12 page 1251, right-hand column, line 25 page 1252, left-hand column, line 14; figures 2,4</p>	
X	<p>--- KHAIRY M M ET AL: "ASYMMETRIC MODULATION AND MULTISTAGE CODING FOR MULTICASTING WITH MULTI-LEVEL RECEPTION OVER FADING CHANNELS" MILCOM 1999. IEEE MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE PROCEEDINGS. ATLANTIC CITY, NJ, OCT. 31 - NOV. 3, 1999, IEEE MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE, NEW YORK, NY: IEEE, US, vol. VOL 1 OF 2 CONF. 18, 31 October 1999 (1999-10-31), pages 92-96, XP000921925 ISBN: 0-7803-5539-3 page 93, left-hand column, line 3 - line 24 page 93, right-hand column, line 14 - line 24 page 94, right-hand column, line 18 - line 39 page 95, left-hand column, line 1 - line 18 page 95, right-hand column, line 17 - line 32; figure 3</p>	1-4,6,7, 12,14-17
X	<p>--- EP 0 540 232 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 5 May 1993 (1993-05-05) page 2, line 45 - line 52 page 6, line 19 - line 54 page 7, line 2 - line 15; figures 2,15,16</p>	1-4, 14-17
Y	<p>--- KUEHN V: "EVALUATING THE PERFORMANCE OF TURBO CODES AND TURBO-CODED MODULATION IN A DS-CDMA ENVIRONMENT" IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 17, no. 12, December 1999 (1999-12), pages 2138-2147, XP000920309 ISSN: 0733-8716 page 2143, right-hand column, line 1 - line 7 page 2144, left-hand column, line 4 - line 10</p>	9,10
A	<p>--- -/--</p>	1,5-8

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/ 3/02878

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>MARTIN P A ET AL: "ON MULTILEVEL CODES AND ITERATIVE MULTISTAGE DECODING" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 49, no. 11, November 2001 (2001-11), pages 1916-1925, XP001076549 ISSN: 0090-6778 page 1917, left-hand column, paragraphs 1,4,5 page 1917, right-hand column, paragraph 1 page 1918, left-hand column, paragraph 2 -right-hand column, paragraph 1 page 1921, left-hand column, paragraph 2; figure 2</p>	1,14-17
A	<p>BURR A G: "Design of optimum M-PSK codes for Rayleigh fading channel" IEE PROCEEDINGS: COMMUNICATIONS, INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS, GB, vol. 147, no. 1, 11 February 2000 (2000-02-11), pages 13-17, XP006013954 ISSN: 1350-2425 page 13, right-hand column, paragraph 3 page 15, last line, paragraph 3 page 16, left-hand column, paragraph 3; figure 5</p>	1,14-17
A	<p>WO 01 67617 A (QUALCOMM INC) 13 September 2001 (2001-09-13) page 3, line 27 - line 34 page 10, line 19 - line 25 page 16, line 10 - line 20 page 19, line 12 - line 25 page 22, line 4 - line 15 page 24, line 11 - line 32</p>	1,14-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/03/02878

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0540232	A	05-05-1993	US 5305352 A	19-04-1994
			DE 69224034 D1	19-02-1998
			DE 69224034 T2	23-04-1998
			EP 0540232 A2	05-05-1993
			JP 2801481 B2	21-09-1998
			JP 6292160 A	18-10-1994
<hr/>				
WO 0167617	A	13-09-2001	US 6594318 B1	15-07-2003
			AU 4348501 A	17-09-2001
			BR 0109045 A	25-03-2003
			CN 1429427 T	09-07-2003
			EP 1264408 A2	11-12-2002
			JP 2003526987 T	09-09-2003
			WO 0167617 A2	13-09-2001

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale No

PCT/3/02878

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE
CIB 7 H04L1/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H04L

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ, INSPEC, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	PAPKE L ET AL: "Different iterative decoding algorithms for combined concatenated coding and multiresolution modulation" COMMUNICATIONS, 1994. ICC '94, SUPERCOMM/ICC '94, CONFERENCE RECORD, 'SERVING HUMANITY THROUGH COMMUNICATIONS.' IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON NEW ORLEANS, LA, USA 1-5 MAY 1994, NEW YORK, NY, USA, IEEE, 1 mai 1994 (1994-05-01), pages 1249-1254, XP010126691 ISBN: 0-7803-1825-0 page 1250, colonne de gauche, alinéa 2.1 page 1250, colonne de gauche, ligne 21 -colonne de droite, ligne 17	1-8, 13-17
Y	page 1250, colonne de droite, ligne 37 -page 1251, colonne de gauche, ligne 3 page 1251, colonne de gauche, ligne 21 - -/--	9,10

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

* Catégories spéciales de documents cités:

"A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent

"E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date

"L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)

"O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens

"P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"&" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

23 février 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

02/03/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale

Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Papantoniou, A

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande Internationale No

PCT/93/02878

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
X	<p>ligne 45 page 1251, colonne de droite, ligne 9 - ligne 12 page 1251, colonne de droite, ligne 25 page 1252, colonne de gauche, ligne 14; figures 2,4</p> <p>-----</p> <p>KHAIRY M M ET AL: "ASYMMETRIC MODULATION AND MULTISTAGE CODING FOR MULTICASTING WITH MULTI-LEVEL RECEPTION OVER FADING CHANNELS" MILCOM 1999. IEEE MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE PROCEEDINGS. ATLANTIC CITY, NJ, OCT. 31 - NOV. 3, 1999, IEEE MILITARY COMMUNICATIONS CONFERENCE, NEW YORK, NY: IEEE, US, vol. VOL 1 OF 2 CONF. 18, 31 octobre 1999 (1999-10-31), pages 92-96, XP000921925 ISBN: 0-7803-5539-3 page 93, colonne de gauche, ligne 3 - ligne 24 page 93, colonne de droite, ligne 14 - ligne 24 page 94, colonne de droite, ligne 18 - ligne 39 page 95, colonne de gauche, ligne 1 - ligne 18 page 95, colonne de droite, ligne 17 - ligne 32; figure 3</p> <p>-----</p>	<p>1-4,6,7, 12,14-17</p>
X	<p>EP 0 540 232 A (AMERICAN TELEPHONE & TELEGRAPH) 5 mai 1993 (1993-05-05) page 2, ligne 45 - ligne 52 page 6, ligne 19 - ligne 54 page 7, ligne 2 - ligne 15; figures 2,15,16</p> <p>-----</p>	<p>1-4, 14-17</p>
Y	<p>KUEHN V: "EVALUATING THE PERFORMANCE OF TURBO CODES AND TURBO-CODED MODULATION IN A DS-CDMA ENVIRONMENT" IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 17, no. 12, décembre 1999 (1999-12), pages 2138-2147, XP000920309 ISSN: 0733-8716 page 2143, colonne de droite, ligne 1 - ligne 7 page 2144, colonne de gauche, ligne 4 - ligne 10</p> <p>-----</p>	<p>9,10</p>
A	<p>-----</p> <p style="text-align: center;">-/--</p>	<p>1,5-8</p>

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dem. de Internationale No

PCT/03/02878

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	<p>MARTIN P A ET AL: "ON MULTILEVEL CODES AND ITERATIVE MULTISTAGE DECODING" IEEE TRANSACTIONS ON COMMUNICATIONS, IEEE INC. NEW YORK, US, vol. 49, no. 11, novembre 2001 (2001-11), pages 1916-1925, XP001076549 ISSN: 0090-6778 page 1917, colonne de gauche, alinéas 1,4,5 page 1917, colonne de droite, alinéa 1 page 1918, colonne de gauche, alinéa 2 -colonne de droite, alinéa 1 page 1921, colonne de gauche, alinéa 2; figure 2</p> <p>---</p>	1,14-17
A	<p>BURR A G: "Design of optimum M-PSK codes for Rayleigh fading channel" IEE PROCEEDINGS: COMMUNICATIONS, INSTITUTION OF ELECTRICAL ENGINEERS, GB, vol. 147, no. 1, 11 février 2000 (2000-02-11), pages 13-17, XP006013954 ISSN: 1350-2425 page 13, colonne de droite, alinéa 3 page 15, dernière ligne, alinéa 3 page 16, colonne de gauche, alinéa 3; figure 5</p> <p>---</p>	1,14-17
A	<p>WO 01 67617 A (QUALCOMM INC) 13 septembre 2001 (2001-09-13) page 3, ligne 27 - ligne 34 page 10, ligne 19 - ligne 25 page 16, ligne 10 - ligne 20 page 19, ligne 12 - ligne 25 page 22, ligne 4 - ligne 15 page 24, ligne 11 - ligne 32</p> <p>-----</p>	1,14-17

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Dem. de Internationale No

PCT/03/02878

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
EP 0540232	A	05-05-1993	US 5305352 A	19-04-1994
			DE 69224034 D1	19-02-1998
			DE 69224034 T2	23-04-1998
			EP 0540232 A2	05-05-1993
			JP 2801481 B2	21-09-1998
			JP 6292160 A	18-10-1994
WO 0167617	A	13-09-2001	US 6594318 B1	15-07-2003
			AU 4348501 A	17-09-2001
			BR 0109045 A	25-03-2003
			CN 1429427 T	09-07-2003
			EP 1264408 A2	11-12-2002
			JP 2003526987 T	09-09-2003
			WO 0167617 A2	13-09-2001